

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Susumu MAEKAWA, et al.

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: September 15, 2003

Examiner:

For: APPARATUS FOR DETECTING OR PREDICTING TOOL BREAKAGE

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2002-295401

Filed: October 8, 2002

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: September 15, 2003

By: 

H. J. Staas
Registration No. 22,010

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 0 月 8 日
Date of Application:

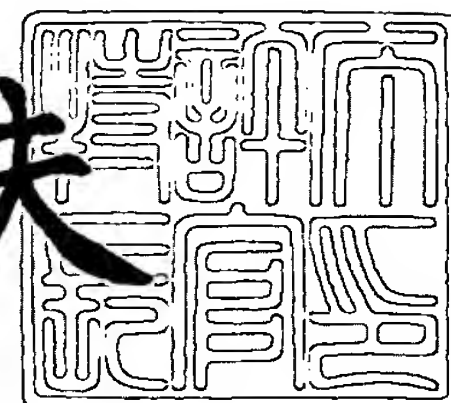
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 9 5 4 0 1
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 2 9 5 4 0 1]

出 願 人 ファナック株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 8 月 7 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 3 - 3 0 6 3 5 3 1

【書類名】 特許願

【整理番号】 21503P

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 B23Q 17/00

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 前川 進

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 安木 國晴

【特許出願人】

【識別番号】 390008235

【氏名又は名称】 ファナック株式会社

【代理人】

【識別番号】 100082304

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹本 松司

【電話番号】 03-3502-2578

【選任した代理人】

【識別番号】 100088351

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉山 秀雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100093425

【弁理士】

【氏名又は名称】 湯田 浩一

【選任した代理人】

【識別番号】 100102495

【弁理士】

【氏名又は名称】 魚住 高博

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015473

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9306857

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 工具折損あるいは予知検出装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 工作機械で使用される工具の折損あるいは折損予知を検出する装置において、
切削負荷を検出する切削負荷検出手段と、
該切削負荷検出手段により検出された切削負荷のデータから、加工サイクルでの切削加工の時間の長さ、切削加工中の切削負荷波形の面積、切削加工中の切削負荷下降傾きの最大絶対値、の 3 つの数値のうち少なくとも 1 つを現加工サイクルの負荷状態値として求める手段と、
現加工サイクルより前の加工サイクルで算出されている負荷状態値に基づいて移動変動しきい値を更新して求める手段と、
前記現加工サイクルの負荷状態値と移動変動しきい値とを比較し、工具異常を判定する手段と、
を備えたことを特徴とする工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 2】 前記前の加工サイクルは、現加工サイクルより 1 つ前又は複数回前の加工サイクルである請求項 1 に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 3】 前記移動変動しきい値は、最初の加工サイクルから現加工サイクルの直前の加工サイクルまでの全加工サイクルあるいは現加工サイクルの前の複数の加工サイクルにおいて算出されている各加工サイクルの負荷状態値の平均値に基づいて求めることを特徴とする請求項 1 に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 4】 工作機械で使用される工具の折損あるいは折損予知を検出する装置において、
切削負荷を検出する切削負荷検出手段と、
該切削負荷検出手段により検出された切削負荷のデータから、加工サイクルでの切削加工の時間の長さ、切削加工中の切削負荷波形の面積、切削加工中の切削負荷下降傾きの最大絶対値、の 3 つの数値のうち少なくとも 1 つを現加工サイクルの負荷状態値として求める手段と、

現加工サイクルの加工位置に対応する前のワークの加工位置における加工サイクルで算出されている負荷状態値に基づいて移動変動しきい値を更新して求める手段と、

前記現加工サイクルの負荷状態値と移動変動しきい値とを比較し、工具異常を判定する手段と、

を備えたことを特徴とする工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 5】 前記前のワークは、現加工サイクルより 1 つ前のワーク又は複数個前のワークである請求項 4 に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 6】 前記移動変動しきい値は、最初に加工したワークから直前に加工したワークまでの全ワークあるいは前に加工した複数のワークにおいて算出されている対応する加工位置での加工サイクルの負荷状態値の平均値に基づいて求めることを特徴とする請求項 4 に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 7】 前記移動変動しきい値は、求められている負荷状態値に所定の係数を乗じて求めることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の内いずれか 1 項に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 8】 前記移動変動しきい値は、求められている負荷状態値に所定値を加算して求めることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の内いずれか 1 項に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 9】 前記工具の異常を判定する手段が工具の異常を判定した際に、警報音や警告灯の起動を指示する手段、または工具交換や機械の作動停止を指示する手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 の内いずれか 1 項に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 10】 前記工具の異常を判定する手段は、前記現加工サイクルの負荷状態値が前記移動変動しきい値を越えたときに前記工具が異常であると判定することを特徴とする請求項 1 乃至 9 の内いずれか 1 項に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 11】 前記工具の異常を判定する手段は、前記現加工サイクルの負荷状態値が前記移動変動しきい値より小さくなったときに前記工具が異常であると判定することを特徴とする請求項 1 乃至 9 の内いずれか 1 項に記載の工具折

損あるいは予知検出装置。

【請求項 1 2】 前記工具の異常を判定する手段は、切削負荷波形の面積、切削負荷下降傾きの最大絶対値については、第 1 の移動変動しきい値と該第 1 の移動変動しきい値より小さい第 2 の移動変動しきい値とを求め、前記現加工サイクルの負荷状態値が前記第 1 の移動変動しきい値を越えたとき、及び、前記現加工サイクルの負荷状態値が前記第 2 の移動変動しきい値より小さくなったときのいずれかにおいて、前記工具が異常であると判定することを特徴とする請求項 1 乃至 9 の内いずれか 1 項に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 1 3】 切削負荷検出手段は、切削負荷のかかる送り軸又は主軸にかかる負荷を検出する請求項 1 乃至 1 2 の内いずれか 1 項に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【請求項 1 4】 切削負荷検出手段は、加わる負荷を推定するオブザーバによって、若しくは、切削負荷のかかる送り軸を駆動するモータ又は主軸を駆動するモータの駆動電流によって負荷を検出する請求項 1 3 に記載の工具折損あるいは予知検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、同一材質のワークに同一形状の加工を行うときや、同一仕様の部品等のワークを多数連続的に加工する工作機械において、この加工で使用する工具の折損、折損予知に関する発明である。特に、マシニングセンタにおけるドリル、タップ加工における工具折損、折損予知に適した工具折損あるいは予知検出装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

一般に工作機械で使用される工具は、加工に使用する時間の経過と共に刃先が摩耗して切削抵抗が増加し、摩耗が進むと加工精度が悪化し、ワークに求められる所定の加工精度を維持することができなくなる。そして、その工具の寿命に至る。

ところで、無人加工や長時間の自動加工に応じて、寿命に達する工具の異常状態を検出する装置として、図 1 に示すごとく、切削開始から切削完了までの 1 加工サイクルのパターンを、あらかじめ、1 つのワークから得られた負荷データ P 1、さらには、その負荷データから移動平均処理あるいは複数個のワークの平均処理などにより滑らかにした 1 加工サイクルのパターンの波形を基準波形 P 2 とし、その基準波形 P 2 に所定の許容値による上下限 P 3, P 4 のバンド幅を求めておき、1 加工サイクル中の経時的な負荷変動を監視する各種異常監視装置が提案されている。

【 0 0 0 3 】

例えば、モデル加工時の負荷を所定時間間隔でサンプリングして基準負荷値として記憶すると共に負荷変動許容値を記憶しておき、連続加工時の負荷値を検出し、検出時間が対応する基準負荷値と検出負荷値を比較し、許容値を越えた場合、警報を出力するようにしたものが知られている（特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 4 】

また、正常切削時の回転運動に伴う負荷変動と、送り運動に伴う負荷変動を規範信号として記憶しておき、連続切削時において検出される負荷変動と規範信号を時間の経過に沿ってそれぞれ比較し、予め設定されている許容範囲を越えている時間が所定時間経過すると警報をそれぞれ出力し、この警報が回転運動の負荷異常、送り運動の負荷異常のどちらか一方かまたは両者かによって、直ちに機械を停止するか、切削を終了してから停止するか対処を行うようにした工具異常検出装置も公知である（特許文献 2 参照）。

【 0 0 0 5 】

さらに、作業工程中、振動値、温度、電流値等を測定し時系列的に基準値として記憶し、後続サイクルの検出値とそれぞれ時系列的に比較し、設定されている上下限值から外れたときには警報を出すようにした機器の異常検出方法も公知である（特許文献 3 参照）。

【 0 0 0 6 】

また、上述した従来例では、時系列的に検出した負荷波形データの基準波形データと連続運転において検出した波形データを比較したものであるが、波形デー

タを比較するものではなく、波形データの特徴点をとらえて比較して異常を検出するものも知られている。例えば、一定の部品を多数加工する専用機や数値制御加工機等において、複数回の切削時の負荷の波形の平均波形を求め、この平均波形の山、谷のタイミング（加工開始からの経過時間）の許容範囲を設定しておき、通常の加工時の負荷波形パターンの山、谷が設定された許容範囲にあるか、負荷波形パターンにおいて設定区間における負荷値が設定上限、下限を越えていないか、負荷波形パターンの設定区間の負荷値の積算値が設定上限、下限内か、加工スタートからの加工時間が設定許容時間を越えていないか、等によって工具異常、工具交換時期を予測できるようにした発明も公知である（特許文献 4 参照）。

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】

特開昭 5 2 - 9 5 3 8 6 号公報

【特許文献 2】

特開昭 5 8 - 1 2 6 0 4 2 号公報

【特許文献 3】

特開平 6 - 2 0 1 3 9 8 号公報

【特許文献 4】

特開昭 5 9 - 1 0 7 8 4 3 号公報

【 0 0 0 8 】

【発明が解決しようとする課題】

近年の切削加工では、高速化が図られており、工具の回転数並びに送り速度が高くサイクルタイムが短いものとなっている。このような加工において、加工中の切削工具の負荷状況を高い精度で捉えるためには、モータならびに主軸の軸受けなどのノイズ信号によるデータのバラツキを取り除くために、数ミリ秒程度以下の短いサンプリング間隔で負荷を採取し、それら数個の負荷の移動平均処理等の必要性がある。従って、基準値として記憶する基準波形データは密度の濃いものとなり、記憶容量の大きなものが必要となってしまう、工具異常時のリアルタイム比較処理も困難な状況である。

【 0 0 0 9 】

さらに、主軸モータから検出されるトルク負荷や、送り軸モータから検出されるスラスト負荷は、機械、被削材、工具、切削油剤など同一でも切削条件を変更すれば、主軸の回転速度及び／または送り軸の送り速度などの変更に応じて変化する。そのため、工具折損トルク及び／またはスラスト負荷を判断するための適正なしきい値をあらかじめ一律に設定することは實際上困難であった。このことから、実際にはその都度、オペレータによる過去の経験値あるいはテスト加工による計測値などを参考にして、工具折損トルク及び／またはスラスト負荷値を、通常、実加工実施前に設定していた。この作業は非常に煩わしいものである。

【 0 0 1 0 】

また、上述した主軸モータから検出されるトルク負荷曲線や、送り軸モータから検出されるスラスト負荷曲線は、同一仕様のワーク（被削材）あるいは工具の交換が行なわれただけで、切削条件が変わらずとも、初期段階での負荷絶対値、ならびに途中段階での増加負荷の傾きなどが異なってくる。

【 0 0 1 1 】

この様子を図 2 にトルク・スラスト負荷推移曲線で模式的に示した。図 2（a）の横軸は、工具の使用回数、縦軸は、主軸モータから検出されるトルク負荷又は送り軸モータから検出されるスラスト負荷を示し、カーブ C 1 は被削材 a 1 を工具 b 1 で同一の加工形状を切削している時のトルク・スラストの平均値の推移を表わし、カーブ C 2 は被削材 a 2（被削材 a 1 と同一仕様）を工具 b 2（工具 b 1 と同一仕様）で同一の加工形状を切削している時のトルク・スラストの平均値推移を表わしている。×印は、工具が折損に至った点を表わしている。

また、図 2（b）の（i）、（ii）、（iii）、（iv）は、矢印で示された図 2（a）において丸印の部分の 1 加工サイクルにおける検出負荷を示すもので、横軸 t は時間、縦軸は負荷（トルク・スラスト）を示すものである。

【 0 0 1 2 】

図 2（a）に示すように、カーブ C 1 とカーブ C 2 では負荷の加工サイクルの平均値が異なり、また、初期段階での負荷の加工サイクルの平均値、ならびに途中段階での加工サイクルにおける負荷の平均値の増加傾きなどが異なっている。

また、図 2 (b) に示されるように、工具を使用開始してから使用回数が増加するにつれて 1 加工サイクルにおける負荷パターンが変化している。そのため、工具折損、及びその予知を行うため、判断の基準となるしきい値として設定する工具折損トルク及び／またはスラスト値は、最初に固定しておくとは折損の予知ができない場合や、異常でないにも係わらず、異常と判別する場合が生じる。

【 0 0 1 3 】

さらに、加工対象として、加工途中で負荷が変動する場合がある。例えば、ドリル加工あるいはタップ加工において、加工途中で切削しない空間のある図 3 (a) に示すような欠肉穴の加工、図 3 (b) に示すような穴が交差する交差穴の加工、図 3 (c) に示すような継続穴の加工や、図 3 (d) に示す鋳型で形成されたワークのすでに穴が形成された位置に穴を加工する鋳抜き穴の加工、図 3 (e) に示すような材質が異なる材料を合わせて形成されているワークに対して加工する合わせ材穴の加工、等の特殊ドリル穴加工あるいはタップ加工などでは、1 加工サイクル内での波形変動が大きい。このような場合、異常を検出するためのしきい値を 1 加工サイクルにおける負荷の平均値に基づいて求めたのでは、工具異常等を検出することは、難しい。

【 0 0 1 4 】

そこで、本発明は、上述した従来技術の問題点を解決することにある。

【 0 0 1 5 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、工作機械で使用される工具の折損あるいは折損予知を検出する装置において、切削負荷を検出する切削負荷検出手段と、該切削負荷検出手段により検出された切削負荷のデータから、加工サイクルでの切削加工の時間の長さ、切削加工中の切削負荷波形の面積、切削加工中の切削負荷下降傾きの最大絶対値、の 3 つの数値のうち少なくとも 1 つを現加工サイクルの負荷状態値として求める手段と、現加工サイクルより前の加工サイクルで算出されている負荷状態値に基づいて移動変動しきい値を更新して求める手段と、前記現加工サイクルの負荷状態値と移動変動しきい値とを比較し、前記工具異常を判定する手段とを設けることによって、工具折損あるいは予知検出を行うようにした。移動変動しきい値を

求める基礎となる負荷状態値は、現加工サイクルより 1 つ前又は複数回前の加工サイクルで求めた負荷状態値、又は、最初の加工サイクルから現加工サイクルの直前の加工サイクルまでの全加工サイクルあるいは現加工サイクルより前の複数の加工サイクルにおいて算出されている各加工サイクルの負荷状態値の平均値とした。

【 0 0 1 6 】

又、同一仕様の部品等のワークに対して連続的に加工する場合に適用する場合、移動変動しきい値を更新して求める手段は、現加工サイクルの加工位置に対応する前のワークの加工位置における加工サイクルで算出されている負荷状態値に基づいて移動変動しきい値を更新して求めるようにした。この場合、移動変動しきい値を求める加工サイクルは、現加工サイクルより 1 つ前のワーク又は複数個前のワークにおける対応する加工位置における加工サイクルとするか、又は、最初に加工したワークから直前に加工したワークまでの全ワークあるいは前に加工した複数のワークにおいて算出されている対応する加工位置での加工サイクルとして、その加工サイクルの負荷状態値の平均値に基づいて移動変動しきい値を求めるようにした。

【 0 0 1 7 】

前記移動変動しきい値は、求められている負荷状態値に所定の係数を乗じて求めるか、所定値を加算して求めるようにした。そして、前記工具の異常を判定する手段が工具の異常を判定したとき、警報音や警告灯の起動を指示する手段、または工具交換や機械の作動停止を指示する手段をも備えるようにした。又、前記工具の異常を判定する手段は、前記現加工サイクルの負荷状態値が前記移動変動しきい値を越えたとき、又は小さくなったときに前記工具が異常であると判定するようにした。又、切削負荷波形の面積、切削負荷下降傾きの最大絶対値については、第 1 の移動変動しきい値と該第 1 の移動変動しきい値より小さい第 2 の移動変動しきい値とを求め、前記現加工サイクルの負荷状態値が前記第 1 の移動変動しきい値を越えたとき、及び、前記現加工サイクルの負荷状態値が前記第 2 の移動変動しきい値より小さくなったときのいずれかにおいて、前記工具が異常であると判定するようにした。

切削負荷検出手段は、切削負荷のかかる送り軸又は主軸にかかる負荷を検出するものとし、オブザーバ又は、切削負荷のかかる送り軸を駆動するモータ又は主軸を駆動するモータの駆動電流によって負荷を検出するようにした。

【 0 0 1 8 】

【発明の実施の形態】

図 5 ～ 図 8 は、ドリルによる穴加工を行い、該工具のドリルが折損した加工サイクル及びそれより前の複数加工サイクルの負荷を測定したもので、工具送り軸である Z 軸のスラスト負荷の測定値を示すもので、基準横軸は、主軸空転時の加工負荷がゼロの位置を示し、黒丸は負荷データを取得した位置を示し、この例では 8 ms の間隔で測定データを得たものである。

【 0 0 1 9 】

図 5 は、直径 2. 5 mm の超硬ドリルを用い、鋼材 S 5 0 C のワークを主軸回転数 $S 8 0 0 0 \text{ min}^{-1}$ 、送り速度 $F 3 2 0 0 \text{ mm/min}$ で繰り返し穴開け加工をしたときの各加工サイクルにおける送り軸（Z 軸）のスラスト負荷の測定値を表すものである。この場合、5 9 3 9 2 回目の穴加工途中で工具折損が生じた。穴加工の切削加工時間を T 、切削加工中の切削負荷波形の面積（負荷値の積算値）を S 、切削加工中における測定間隔 8 ms における測定負荷の差より切削負荷下降傾きがわかりこの傾きの最大値を G としたとき、工具折損が生じた穴加工サイクルよりも 1 つ前の穴加工サイクルの上記加工時間、面積、傾きの最大絶対値を T_1 、 S_1 、 $|G_1|$ 及び工具折損が生じた穴加工サイクルにおける、上記加工時間、面積、傾きの最大絶対値を T_2 、 S_2 、 $|G_2|$ とすると、 $T_1 > T_2$ 、 $S_1 > S_2$ 、 $|G_1| < |G_2|$ の関係が成り立ち、この加工時間 T 、切削負荷波形の面積 S 、切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G|$ を 1 つ前の加工における測定値と比較することによって工具折損を検出できる。また、工具折損が生じた穴加工サイクルよりも 1 つ前の穴加工サイクルまでは、加工時間 T 、面積 S 、傾きの最大絶対値 $|G|$ に大きく変化がないから、複数回前の加工サイクルの加工時間、面積、傾きの最大絶対値、最初の加工サイクルからの各加工サイクルにおける加工時間、面積、傾きの最大絶対値の各平均値、現在の加工サイクルの前の複数回の加工サイクルにおける加工時間、面積、傾きの最大絶対値の各平均値と、現在の

加工サイクルのこれらの測定値を比較することにより工具折損を検出できる。

【 0 0 2 0 】

図 6 は、ドリル穴加工時に穴底まで加工し切削送りが終わり、逆方向に早送りで戻る際に折損が生じたときに、送り軸（Z 軸）のスラスト負荷を測定し、その測定値の波形を示すものである。なお、この場合、工具は、直径 6. 8 mm の超硬ドリル、ワークは鋼材 S 5 0 C、主軸回転数は $S\ 5\ 9\ 9\ 5\ \text{min}^{-1}$ 、送り速度 $F\ 2\ 0\ 9\ 8\ \text{mm/min}$ である。この場合、穴開けの切削が終了して早送りで戻る途中で工具折損が生じたものであるから、工具折損が生じた穴加工サイクルの負荷波形とそれより 1 つ前の穴加工サイクル負荷波形とは格別差異はなく、穴加工サイクルの加工時間を T_1 、 T_2 、切削負荷波形の面積 S_1 、 S_2 、切削負荷下降傾きの最大絶対値を $|G_1|$ 、 $|G_2|$ はほぼ等しくなり、工具折損を検出できないが、次の穴加工サイクルにおいて、これら T 、 S 、 $|G|$ の値が大きく変化するから、それによって検出することができる。

【 0 0 2 1 】

図 7 は、工具は直径 3. 3 mm のハイスドリル、ワークは鋼材 S 5 0 C、主軸回転数は $S\ 2\ 8\ 9\ 5\ \text{min}^{-1}$ 、送り速度 $F\ 6\ 6\ 6\ \text{mm/min}$ で穴加工を行い、各加工サイクルにおける送り軸である Z 軸のスラスト負荷を測定した負荷波形を示す。この場合、3 9 8 個目の穴切削加工中に工具折損が生じた。この場合、工具折損が生じた 3 9 8 個目の穴加工サイクルにおける負荷波形の面積 S_4 が 1 つ前の 3 9 7 個目における穴加工サイクルの負荷波形面積 S_3 より小さくなっていることから工具折損を検出でき。また、加工時間も 3 9 7 個目の穴加工よりも 3 9 8 個目の穴加工の方が短くなっていることから工具折損を検出することができる。さらに、工具折損が生じる 3 つ前の穴加工サイクルと以後の穴加工サイクルの負荷波形を比較し、負荷波形の面積（負荷値の積算値）が増大していること（ S_1 、 S_2 、 S_3 ）から、これを工具摩耗による工具折損予知として検出できる。

【 0 0 2 2 】

また図 8 は、工具は直径 2. 5 mm 超硬ドリル、ワークは鋼材 S 5 0 C、主軸回転数は $S\ 7\ 8\ 9\ 8\ \text{min}^{-1}$ 、送り速度 $F\ 3\ 1\ 5\ 9\ \text{mm/min}$ で穴加工を行い、各加工サイクルにおける送り軸である Z 軸のスラスト負荷を測定した負荷波形を示す。

この場合、3 1 1 1 7 個目の穴加工の切削途中で工具折損が生じた。そして、測定した切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G|$ は、工具折損が生じた加工サイクルの負荷波形とそれより前の加工サイクルの負荷波形とでは 1. 2 倍程度の差しか生じなかった。工具折損にいたる切削実験を 5 0 回行ったが、大半が図 5 に示すように、工具折損が生じた加工サイクルの切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G_2|$ は、直前の正常な加工サイクルにおける切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G_1|$ より 5 ~ 6 倍の値を示していたが、図 6 に示すように変化がない場合や、図 8 に示すように 1. 2 倍程度のときもある。しかし、工具折損後は、小さくなり、 $|G_1| > |G_2|$ となる。

【0 0 2 3】

以上、図 5 ~ 図 8 の実験結果から、切削加工時間 T については、工具折損が生じた加工サイクルでは、それより前の正常な加工サイクルの切削加工時間 T より小さくなることから、これにより工具折損を検知することができる。また、切削加工中の切削負荷波形の面積（負荷値の積算値） S からは、工具折損の加工サイクルが近づくとつれて該面積 S が増大することから工具折損予知ができる。また、工具折損した加工サイクルの次の加工サイクルでは、切削負荷波形の面積 S は以前の正常な加工サイクルの切削負荷波形の面積 S より小さくなることから、工具折損を検出できる。なお、その 1 つ前の工具折損した加工サイクルでも、それより前の正常な加工サイクルの切削負荷波形の面積 S より小さくなることもあり、工具折損を検出できる。さらに、切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G|$ については、前の加工サイクルにおける切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G|$ より大きくなったことにより工具折損を検出でき、さらに、前の加工サイクルにおける切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G|$ より極端に小さくなったことにより、工具折損が生じていたことを検出することができる。

【0 0 2 4】

そこで、本発明は、仕様が同一の部品等のワークに対して、同一の加工形状を加工するときの工具折損の検知及びその予知を行うものとして、本実施形態では、加工サイクルにおける負荷の状態を示す負荷状態値として、切削加工時間 T 、切削負荷波形の面積 S 、切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G|$ を求め、工具折損

の検知及び工具折損予知を行う判別基準としてのしきい値を正常時の加工サイクルにおける負荷状態値（切削加工時間 T 、切削負荷波形の面積 S 、切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G|$ ）に係数を乗じた値とし、加工回数が進むにつれて変化変動する移動変動しきい値とする。

【0 0 2 5】

すなわち、図 4 に模式的に示すように、正常時の加工サイクルの負荷波形を図 4（a）、工具折損が生じた加工サイクルの負荷波形を図 4（b）としたとき、正常時の加工サイクル（図 4（a））の負荷状態値である切削加工時間を T_1 、切削負荷波形の面積 S_1 、切削負荷下降傾きの最大値を G_1 、工具折損が生じた加工サイクル（図 4（b））の切削加工時間を T_2 、切削負荷波形の面積 S_2 、切削負荷下降傾きの最大値を G_2 としたとき、

第 1 の判別基準： $T_2 < c_1 \cdot T_1$

第 2 の判別基準： $S_2 > c_2 \cdot S_1$ または $S_2 < c_3 \cdot S_1$

第 3 の判別基準： $|G_2| > c_4 \cdot |G_1|$ または $|G_2| < c_5 \cdot |G_1|$

ただし、係数： $0 < c_1 < 1$ 、 $c_2 > 1$ 、 $0 < c_3 < 1$ 、 $c_4 > 1$ 、 $0 < c_5 < 1$ とする。

そして上記第 1 ～ 第 3 の判別基準のいずれかが満足したとき、工具異常と判定するようにする。

【0 0 2 6】

図 9 は本発明の工具折損あるいは予知検出装置をも兼ねる工作機械を制御する制御装置（数値制御装置）100 のブロック図である。CPU11 は制御装置100 を全体的に制御するプロセッサである。CPU11 は、ROM12 に格納されたシステムプログラムをバス20 を介して読み出し、該システムプログラムに従って制御装置全体を制御する。RAM13 には一時的な計算データや表示データ及び表示器／MDI ユニット80 を介してオペレータが入力した各種データが格納される。CMOS メモリ14 は図示しないバッテリーでバックアップされ、制御装置100 の電源がオフされても記憶状態が保持される不揮発性メモリとして構成される。CMOS メモリ14 中には、インターフェイス15 を介して読み込まれた加工プログラムや表示器／MDI ユニット80 を介して入力された加工プ

プログラム等が記憶される。また、ROM 1 2 には、加工プログラムの作成及び編集のために必要とされる編集モードの処理や自動運転のための処理を実施するための各種システムプログラムが予め書き込まれている。特に本発明と関係して、工具折損あるいは折損予知を検出する後述する処理プログラムが格納されている。

【 0 0 2 7 】

インターフェイス 1 5 は、制御装置 1 0 0 とアダプタ等の外部機器 8 2 との接続を可能とするものである。外部機器 8 2 側からは加工プログラム等が読み込まれる。また、制御装置 1 0 0 内で編集した加工プログラムは、外部機器 8 2 を介して外部記憶手段に記憶させることができる。PMC（プログラマブル・マシン・コントローラ）1 6 は、制御装置 1 0 0 に内蔵されたシーケンスプログラムで工作機械の補助装置（例えば、工具交換用のロボットハンドといったアクチュエータ）に I/O ユニット 1 7 を介して信号を出力し制御する。

【 0 0 2 8 】

表示器／MDI ユニット 8 0 はディスプレイやキーボード等を備えた手動データ入力装置であり、インターフェイス 1 8 は表示器／MDI ユニット 8 0 のキーボードからの指令、データを受けて CPU 1 1 に渡す。インターフェイス 1 9 には、工作機械の本体に配備された操作盤 8 1 が接続され、該操作盤 8 1 には、警報装置や警報灯が設けられ、さらに、機械に対する各種指令を入力する各種スイッチが設けられている。

【 0 0 2 9 】

各軸の軸制御回路 3 0 ～ 3 2 は CPU 1 1 からの各軸の移動指令量を受けて、各軸の指令をサーボアンプ 4 0 ～ 4 2 に出力する。サーボアンプ 4 0 ～ 4 2 はこの指令を受けて、X、Y、Z の各軸のサーボモータ 5 0 ～ 5 2 を駆動する。各軸のサーボモータ 5 0 ～ 5 2 は位置・速度検出器を内蔵し、この位置・速度検出器からの位置、速度フィードバック信号を軸制御回路 3 0 ～ 3 2 にフィードバックし、位置・速度のフィードバック制御を行う。又、サーボアンプ 4 0 ～ 4 2 から各サーボモータ 5 0 ～ 5 2 に出力される駆動電流も電流検出器 6 0 ～ 6 2 で従来と同様に検出され、軸制御回路 3 0 ～ 3 2 にそれぞれフィードバックされ電流（

トルク) 制御がなされる。モータに流れる駆動電流とモータにかかる負荷トルクは概略一致するので、この実施形態ではこのサーボモータ 5 0 ~ 5 2 に流れる駆動電流を検出する電流検出器 6 0 ~ 6 2 によって、負荷検出手段を構成する。なお、図 9 では、位置、速度のフィードバックについては省略している。

【 0 0 3 0 】

また、主軸制御回路 7 0 は主軸回転指令を受け、指令速度と、主軸モータ 7 2 の回転に同期して帰還パルスが発生するポジションコーダ 7 3 からのフィードバック信号に基づいて速度制御を行い、さらに、主軸モータ 7 2 に流れる駆動電流を検出する電流検出器 7 4 からの電流フィードバック信号を受けて、電流ループ制御を行い、主軸モータ 7 2 の回転速度を制御する。この主軸モータに加わる負荷と駆動電流はほぼ比例することから、この実施形態では、電流検出器 7 4 で主軸モータに加わる負荷の検出手段を構成する。

【 0 0 3 1 】

この実施形態では、主軸に工具としてドリルを装着し、仕様が同一である部品等の多数のワークに対して順次穴開け加工を行い、該ドリルの折損あるいはその予知を検出するものとする。この場合、工具のドリルは主軸に取り付けられ、ワークは送り軸の X 軸、Y 軸のサーボモータ 5 0、5 1 で駆動されるテーブルに取り付けられる。又、該 X 軸、Y 軸と直交する Z 軸方向に主軸を移動させる送り軸の Z 軸のサーボモータ 5 2 により工具のドリルはワークに対して相対的に移動することになる。

【 0 0 3 2 】

図 1 0 は、制御装置 1 0 0 の R O M 1 2 に格納されている工具折損あるいはその予知検知処理のプログラムのフローチャートである。

C P U 1 1 は、加工が開始されたか否か判断し (ステップ A 1)、加工が開始されると、主軸又は切削送り軸の切削負荷を検知する。本実施形態の場合、主軸モータ 7 2 又は工具のドリルを切削送りする Z 軸のサーボモータ 5 2 に加わる切削負荷を、電流検出器 7 4、又は電流検出器 6 2 で検出される駆動電流により所定周期毎に検出する。この切削負荷は、主軸モータ又はドリルの切削送り軸である Z 軸のサーボモータにかかる切削負荷のいずれかを検出すればよいものであり

、この実施形態では、送り軸である Z 軸のサーボモータ 5 2 にかかる切削負荷を電流検出器 6 2 で検出される駆動電流によって検出するものとしている（ステップ A 2）。

【0 0 3 3】

そして、切削終了が検出されるまで、負荷の検出と、この加工を開始してからの切削時間 T 、検出された負荷の積算値（切削負荷波形の面積） S 、前周期で検出された負荷と当該周期で検出された負荷の差より負荷の下降傾き値を求めその最大値の絶対値を算出し負荷状態値として記憶する（ステップ A 2 ～ A 4）。切削負荷は所定周期毎検出されるから、加工開始から切削負荷検出する毎に所定周期の時間を加算して行けば、切削時間 T が求まり、検出した切削負荷を積算していけば、切削負荷の積算値 S が求まる。さらに、前周期と当該周期の検出切削負荷の差が負であれば、負荷が減少し下降しているものとし、この差の絶対値を切削負荷の下降傾きとして求め、すでに記憶しているこの切削負荷下降傾きの最大絶対値 $|G|$ （なお最初は「0」にセットされている）と比較し、大きい方を下降傾きの最大絶対値 $|G|$ として記憶する。

その結果、加工サイクルが終了した段階では、負荷状態値を示す切削時間 T 、切削負荷積算値 S 、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ が求まる。

【0 0 3 4】

次に、当該時点で加工が完了した加工位置（ワーク上の位置で X 、 Y 軸位置）に対応して記憶されている 1 つ前に加工したワークに対する負荷状態値である切削時間 T_1 、切削負荷積算値 S_1 、下降傾きの最大絶対値 $|G_1|$ にそれぞれ予め設定されている係数（ c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 ）を乗じて、移動変動しきい値（ $c_1 \cdot T_1$ 、 $c_2 \cdot S_1$ 、 $c_3 \cdot S_1$ 、 $c_4 \cdot |G_1|$ 、 $c_5 \cdot |G_1|$ ）を求める（ステップ A 5）。そして、当該加工サイクルで検出した負荷状態値の切削時間 T 、切削負荷積算値 S 、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ を、次のワークに対する加工のときに利用するために、当該加工位置に対応して T_1 、 S_1 、 $|G_1|$ として記憶する（ステップ A 6）。

【0 0 3 5】

次に、ステップ A 3 で求めた負荷状態値の切削時間 T 、切削負荷積算値 S 、下

降傾きの最大絶対値 $|G|$ と、ステップ A 5 で求めた移動変動しきい値とを比較し、上述した第 1 ～ 第 3 の判別基準で工具異常か否か判別する（ステップ A 7、A 8）。

この判別結果、負荷状態値である切削時間 T 、切削負荷積算値 S 、下降傾き最大絶対値 $|G|$ の各値が判別基準により異常と判断された場合には、操作盤 8 1 上に配置された警報器や警告灯等により警報を出力したり、さらには機械の動作を停止して、図示しない工具交換機に工具交換指令を出力し、工具交換を行うようにする等の異常発生処理を行う（ステップ A 9）。

【 0 0 3 6 】

一方、工具異常が検出されなかった時には、プログラム終了か否か判断し（ステップ A 1 0）、終了してなければ、ステップ A 1 に移行し、次の加工の工具折損、その予知の処理を行うことになる。又、プログラムが終了していれば、当該ワークに対する処理は終了する。

【 0 0 3 7 】

以上が本発明の一実施形態における工具折損あるいは予知検知の動作処理であるが、上述した実施形態では、3 つの負荷状態値（切削時間 T 、切削負荷積算値 S 、下降傾き最大絶対値 $|G|$ ）のいずれか 1 つでも異常が検出されると、工具異常として異常発生処理を行ったが、3 つの負荷状態値の内 1 つの負荷状態値によって工具異常を検出するようにしてもよい。

【 0 0 3 8 】

例えば、切削時間 T で工具異常を判別するときには、前述したように、移動変動しきい値より、当該加工サイクルにおける切削時間 T が小さくなったときには、工具折損が発生したものとして、異常発生処理（ステップ A 9）を行うようにする。

【 0 0 3 9 】

又、切削負荷積算値（切削負荷波形の面積） S では、当該加工サイクルで求められた切削負荷積算値 S が、第 1 の移動変動しきい値（ $c_2 \cdot S_1$ ）より大きくなったとき、工具の寿命が近く、折損予知として検出し、異常発生処理を行う。又は、第 2 の移動変動しきい値（ $c_3 \cdot S_1$ ）より小さくなったときは、工具折

損が発生したことを意味し、異常発生処理を行うようにする。

【 0 0 4 0 】

さらに、下降傾き最大絶対値 $|G|$ では、当該加工サイクルで求められた下降傾き最大絶対値 $|G|$ が、第 1 の移動変動しきい値 $(c_4 \cdot G_1)$ より大きくなったとき、工具が当該加工サイクル中に折損したとして検知でき異常発生処理を行う。又、第 2 の移動変動しきい値 $(c_5 \cdot G_1)$ より小さくなったときは、すでに工具折損が発生していることを意味し、異常発生処理を行うようにする。

【 0 0 4 1 】

又、上述した実施形態では、切削負荷を工具であるドリルの送り軸の Z 軸のサーボモータ 5 2 にかかる負荷である駆動電流によって検出したが、上述したように、工具であるドリルを回転させる主軸の主軸モータ 7 2 の駆動電流を検出して切削負荷を検出するようにしてもよい。又、送り軸のサーボモータ 5 2、主軸モータ 7 2 の両方の駆動電流からそれぞれのモータにかかる負荷を検出し、この負荷を総合して切削負荷として、ステップ A 5 移行の処理に利用してもよい。

【 0 0 4 2 】

又、送り軸及び主軸にかかる負荷をそれぞれ求め、ステップ A 5 以下の処理では、送り軸及び主軸についてそれぞれに行い、送り軸又は主軸のそれぞれの切削時間 T 、切削負荷積算値 S 、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ に異常が検出されたとき、工具異常判断してステップ A 9 に移行するか、又は、送り軸又は主軸において共に異常が検出されたとき、異常としてステップ A 9 に移行するようにしてもよい。

【 0 0 4 3 】

又、上述した実施形態では、ステップ A 5、A 6 で、加工位置に対応して負荷状態値である切削時間 T 、切削負荷積算値 S 、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ を記憶し、それを利用したが、ワークに 1 箇所しか加工しない場合には、加工位置は必ず対応するから、単に負荷状態値の切削時間 T 、切削負荷積算値 S 、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ を記憶させておけばよい。加工位置に対応させて記憶させた理由は、ワークに対して当該ドリルにより複数の加工を行うような場合には、図 3 に示したように、加工位置によっては、ドリルによる穴開け加工の形態が変わ

り、当然切削負荷も変わることから、加工位置に対して記憶するようにしたものである。

【 0 0 4 4 】

さらに、ワークが平坦な均一な材料で、該ワークに多数の同一形状の加工を同一の切削条件で行うような場合には、単に前回の加工サイクル時の負荷状態値である切削時間 T、切削負荷積算値 S、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ に基づいて得られた移動変動しきい値と当該加工サイクルにおける加工における負荷状態値の切削時間 T、切削負荷積算値 S、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ に基づいて異常判別を行えばよいから、ステップ A 6 では、単に切削時間 T、切削負荷積算値 S、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ を記憶すればよく、ステップ A 5 では記憶されているこれらデータを読み出し、移動変動しきい値を求めればよいものとなる。

【 0 0 4 5 】

以上のように、本実施形態では、異常判別するしきい値を 1 つ前の同質の加工時に得られたデータによって、変化させるものとした。しかし、すでに述べたように、1 つ前の加工サイクルの切削時間 T、切削負荷積算値 S、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ に代えて、複数個前の加工サイクルの切削時間 T、切削負荷積算値 S、下降傾きの最大絶対値 $|G|$ 、さらには、現加工サイクルより前の複数の加工サイクル又は当初からの加工サイクルにおける切削時間 T、切削負荷積算値 S、下降傾き最大絶対値 $|G|$ の平均値によって、移動変動しきい値を求めるようにしてもよい。

【 0 0 4 6 】

又、移動変動しきい値として、上述した実施形態では、切削時間、切削負荷積算値、下降傾きの最大絶対値に係数を乗じることによって求めたが、係数を乗じる代わりに、所定値を加算又は減算することによって、移動変動しきい値としてもよい。

【 0 0 4 7 】

さらに、切削負荷の検出として、上述した実施形態では、主軸や送り軸の駆動電流を検出して切削負荷を検出するようにしたが、この切削負荷をすでに公知の負荷推定オブザーバによって求めるようにしてもよい。すなわち、主軸制御回路

内又は切削負荷がかかる送り軸の軸制御回路内に負荷を推定するオブザーバを組み込み、このオブザーバで求められる負荷を切削負荷とし、ステップA 2 で検出するようにすればよい。他の処理は図 1 0 に示す動作処理と同一である。又、この切削負荷の検知としては、主軸モータや切削送り軸のモータの電力を検出することによって切削負荷を検出してもよい。さらには、切削抵抗の検出には、切削抵抗計測用の動力計などのセンサを用いてもよい。

【 0 0 4 8 】

【発明の効果】

本発明においては、工具折損あるいはその予知検出において、判断基準として記憶して置くしきい値のデータ数が少なく、記憶容量が少なくて済み、かつ、データ数が少ないから高速加工に伴う高速処理にも対応できる。又、しきい値を当該加工サイクルより前の加工サイクルにもとづいて、順次更新する移動変動しきい値としたことにより、工具の長時間の使用により変化する工具状態に対しても工具折損又はその予知を的確に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

従来の工具異常検出における異常検出判別方法の説明図である。

【図 2】

工具にかかる負荷状態を説明する説明図である。

【図 3】

穴加工における各種加工状態を説明する説明図である。

【図 4】

正常時の 1 加工サイクルの負荷状態と工具異常時の 1 加工サイクルの負荷状態を説明する説明図である。

【図 5】

超硬ドリルによる加工において工具折損が生じた加工サイクル及びそれより 2 つ前までの加工サイクルの切削負荷を測定した測定結果を示す図である。

【図 6】

超硬ドリルによる加工において工具折損を検出した加工サイクル及びそれより

2 つ前までの加工サイクルの切削負荷を測定した、別の実験の測定結果を示す図である。

【図 7】

ハイスドリルによる加工において工具折損を検出した加工サイクル及びそれより複数個前までの加工サイクルの切削負荷を測定した測定結果を示す図である。

【図 8】

超硬ドリルによる加工において工具折損を検出した加工サイクル及びそれより 2 つ前までの加工サイクルの切削負荷を測定した、さらに別の実験の測定結果を示す図である。

【図 9】

本発明の一実施形態を構成し、工作機械の制御を行う制御装置の要部ブロック図である。

【図 1 0】

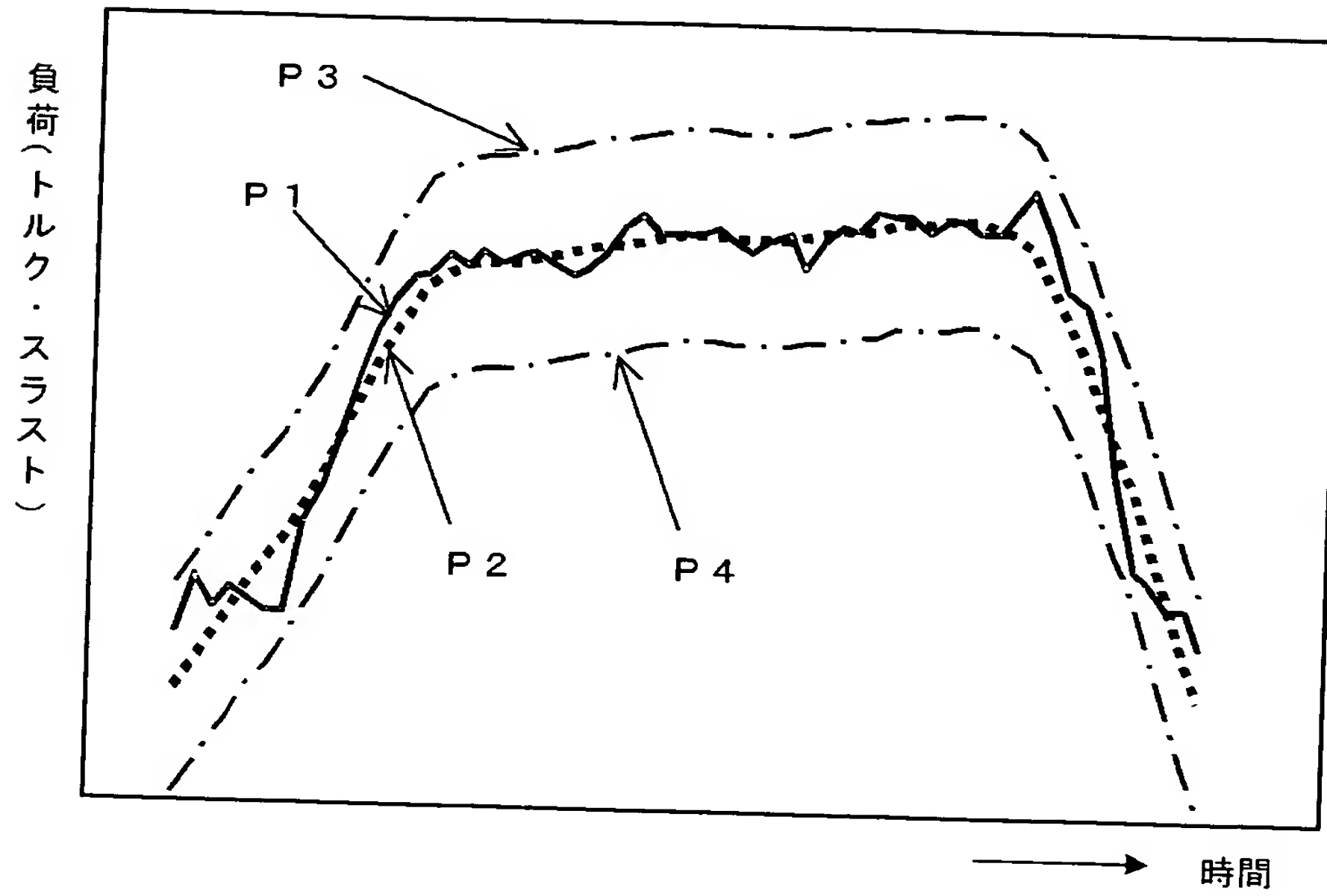
本発明の一実施形態の動作処理フローチャートである。

【符号の説明】

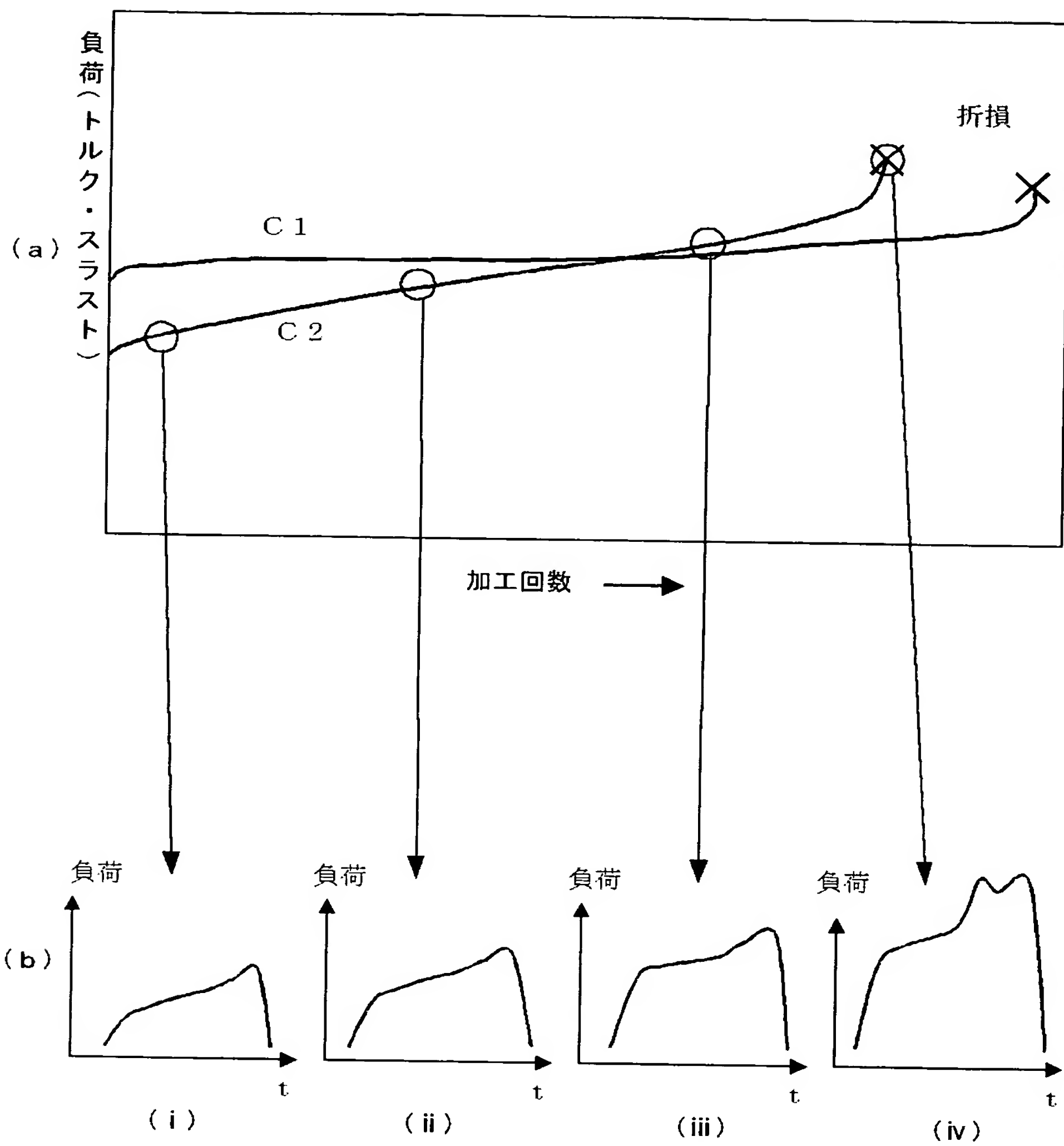
- T 切削時間
- S 切削負荷波形の面積（切削負荷積算値）
- G 切削負荷下降傾き最大値

【書類名】 図面

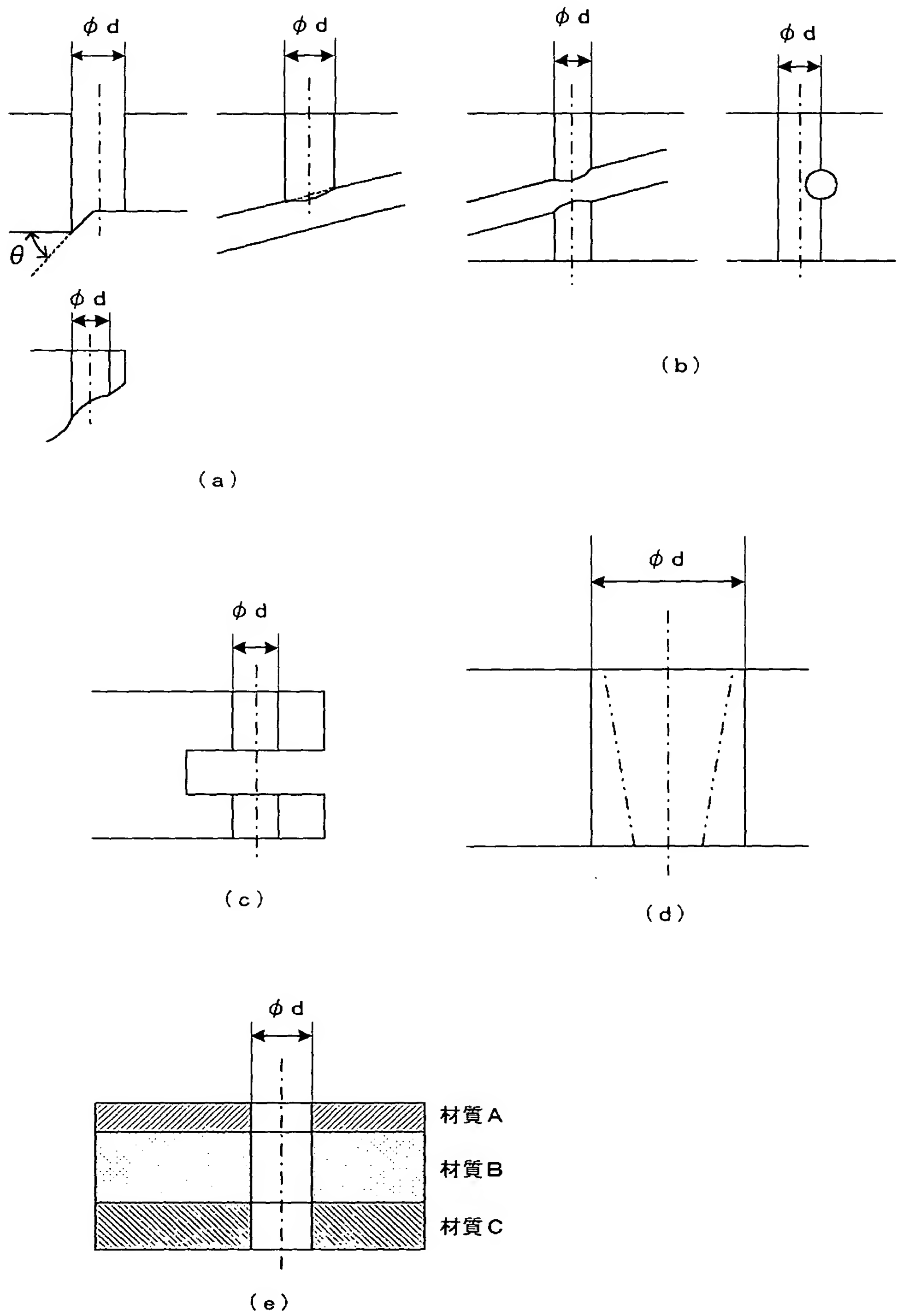
【図 1】



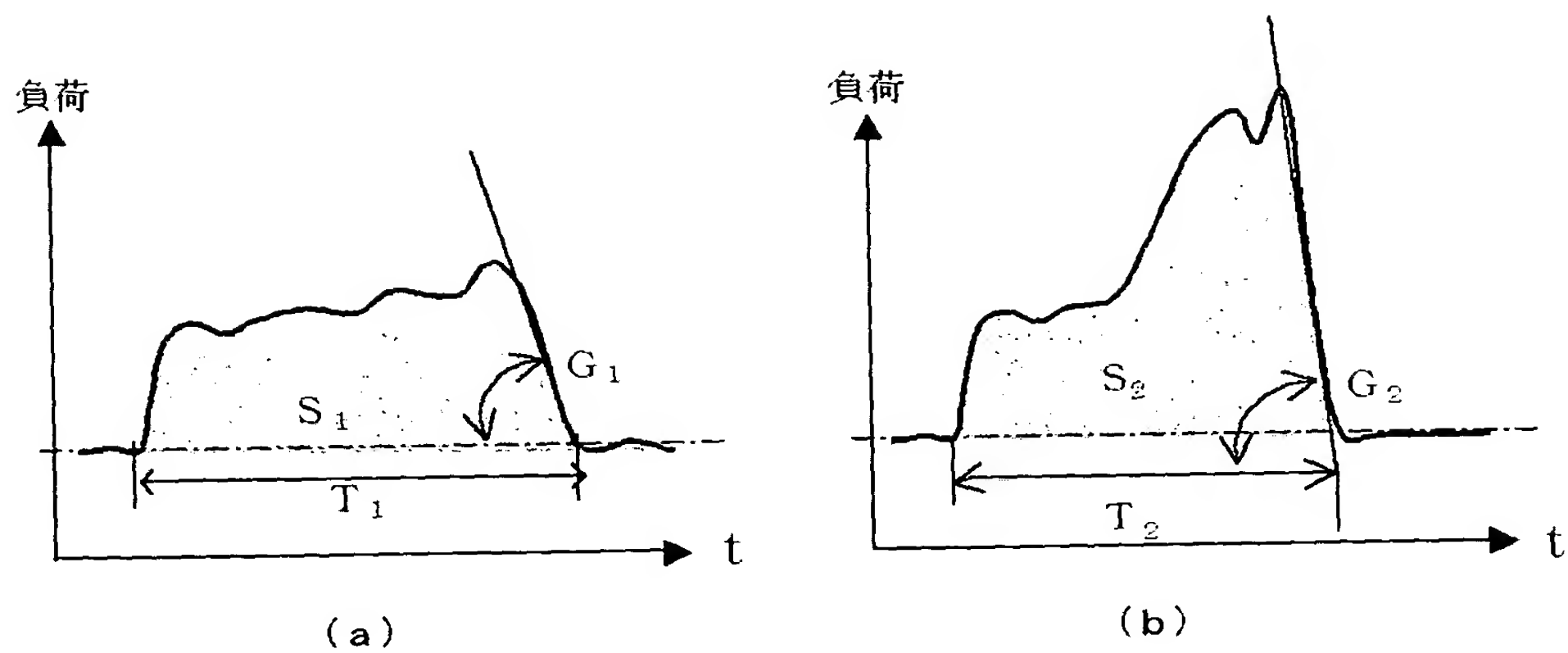
【図 2】



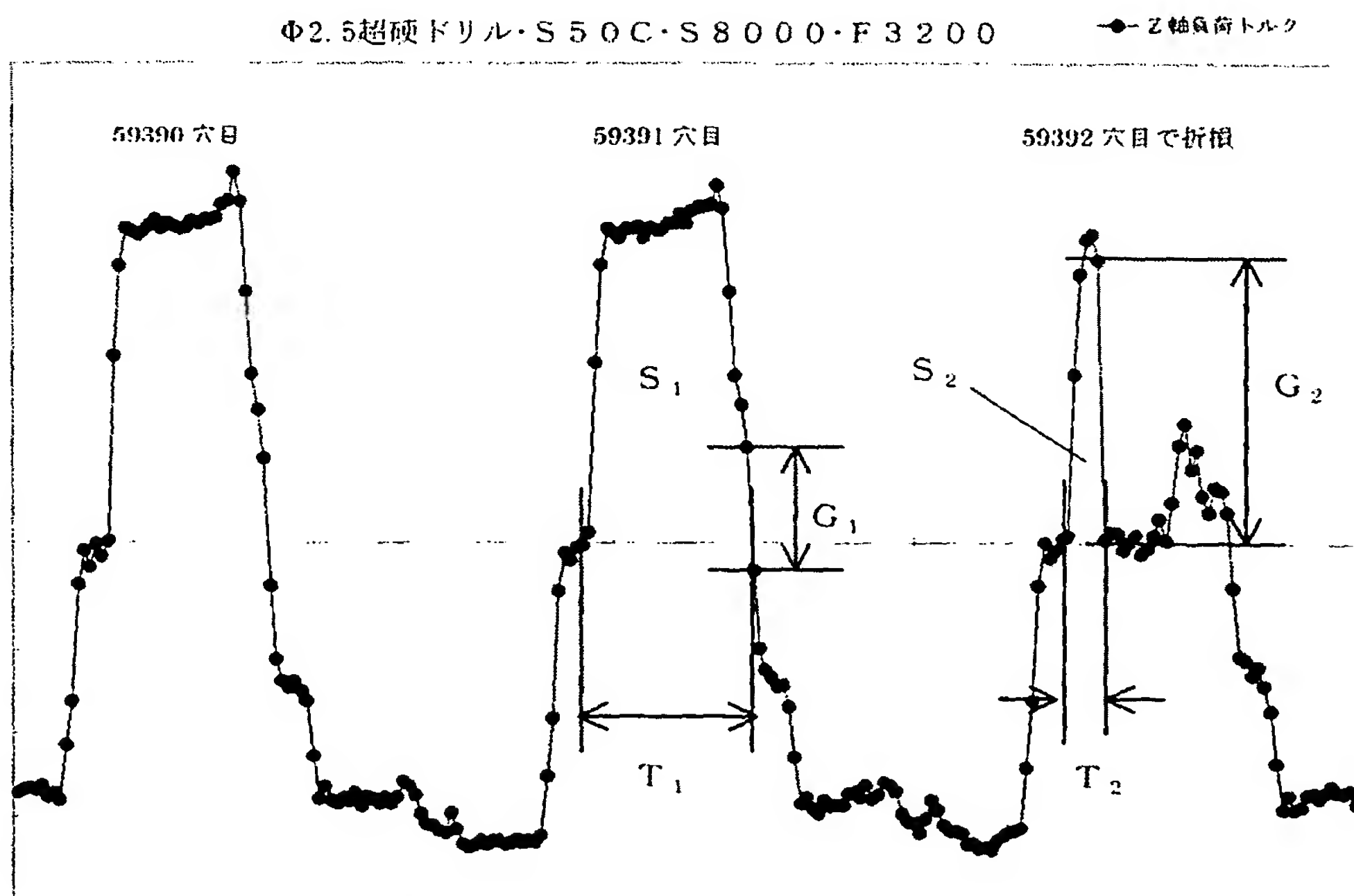
【図 3】



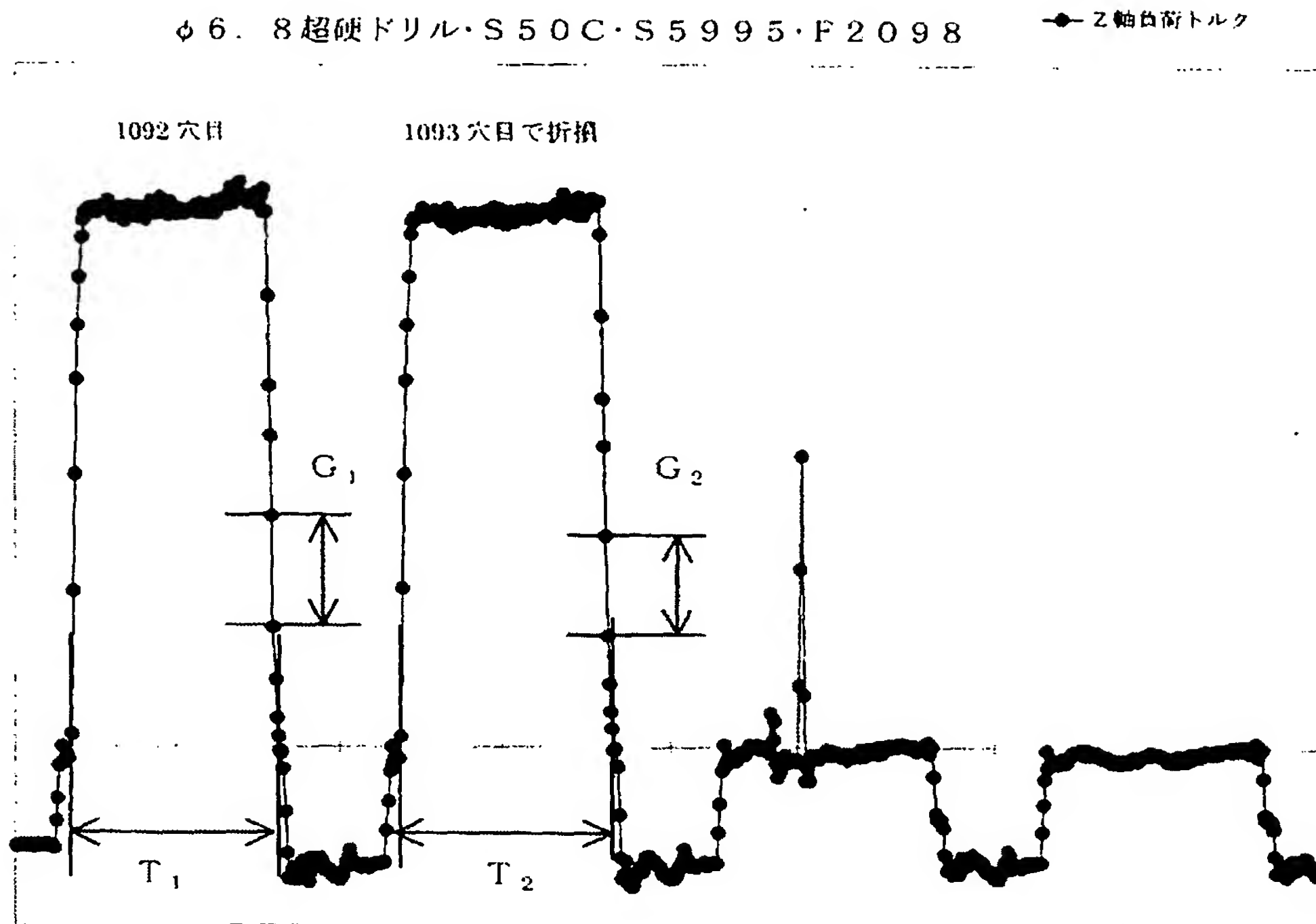
【図 4】



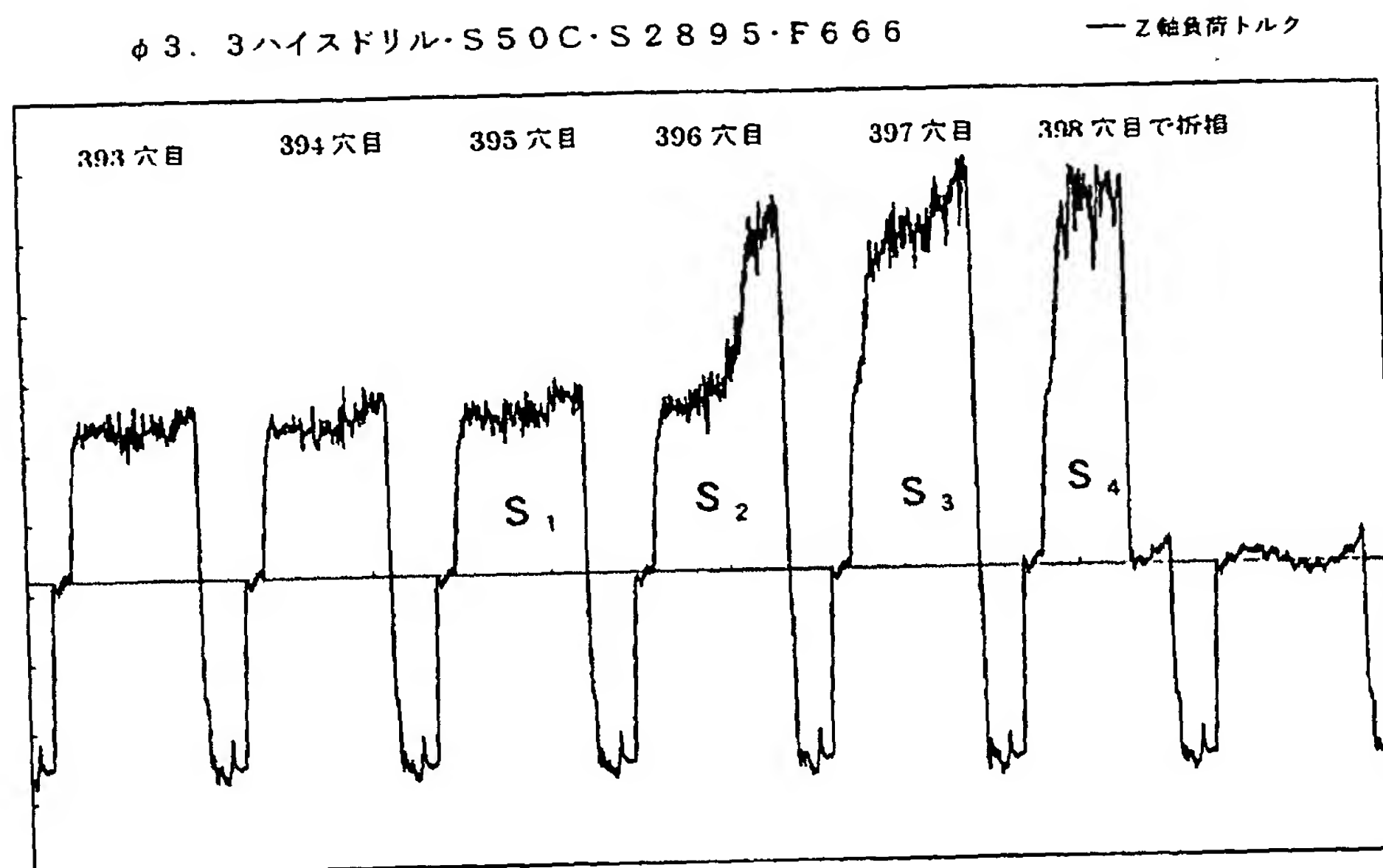
【図 5】



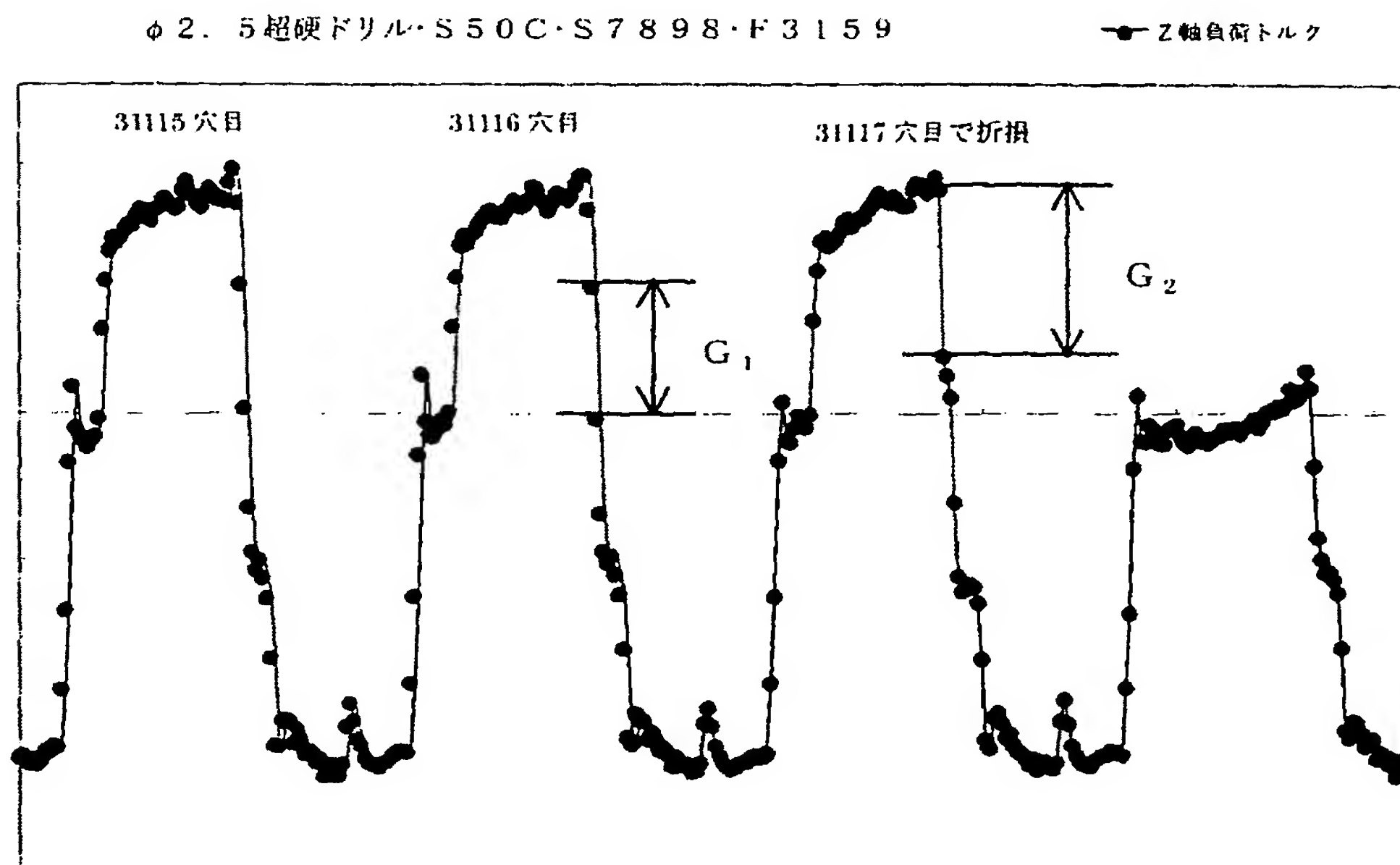
【図 6】



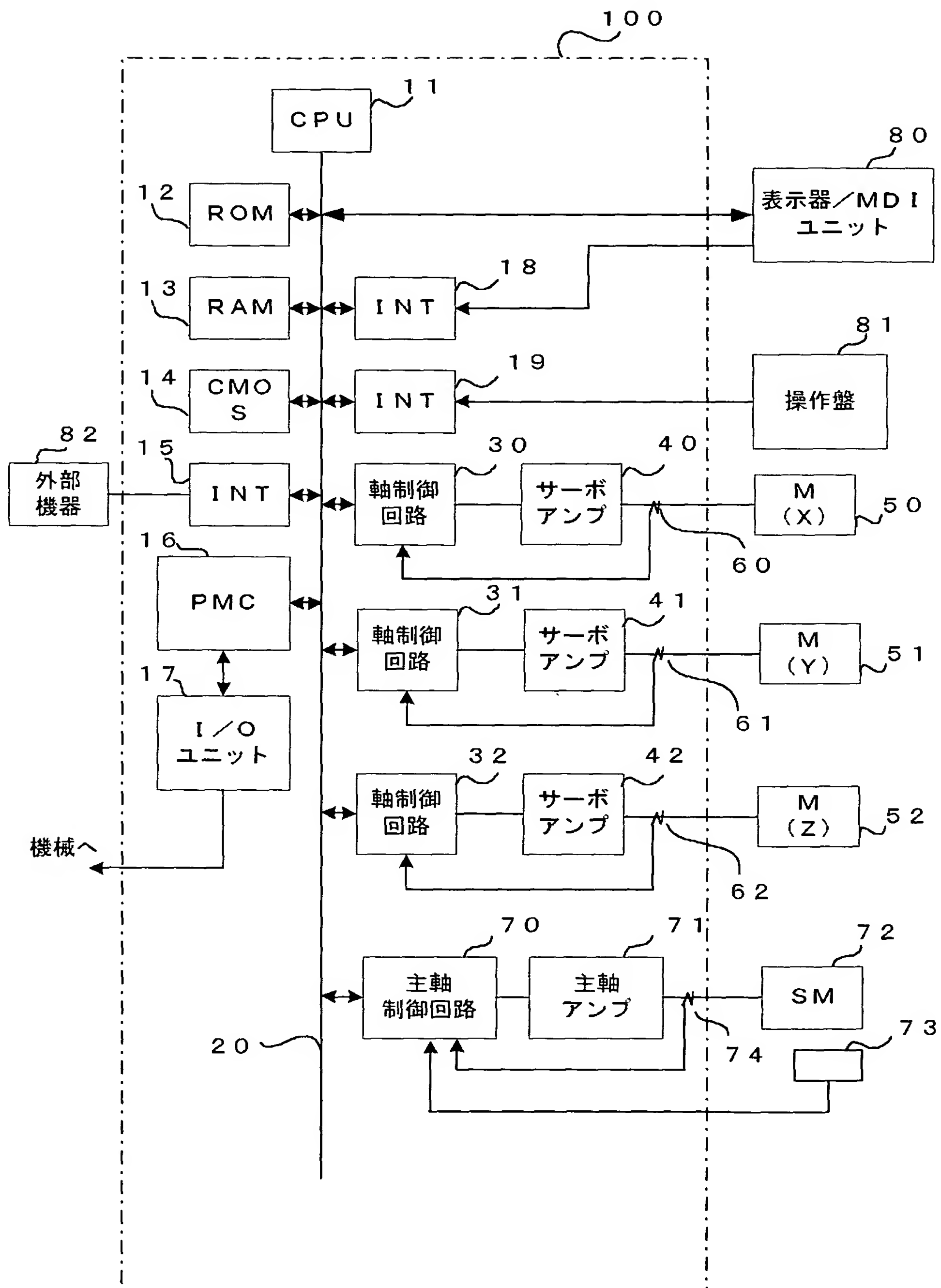
【図 7】



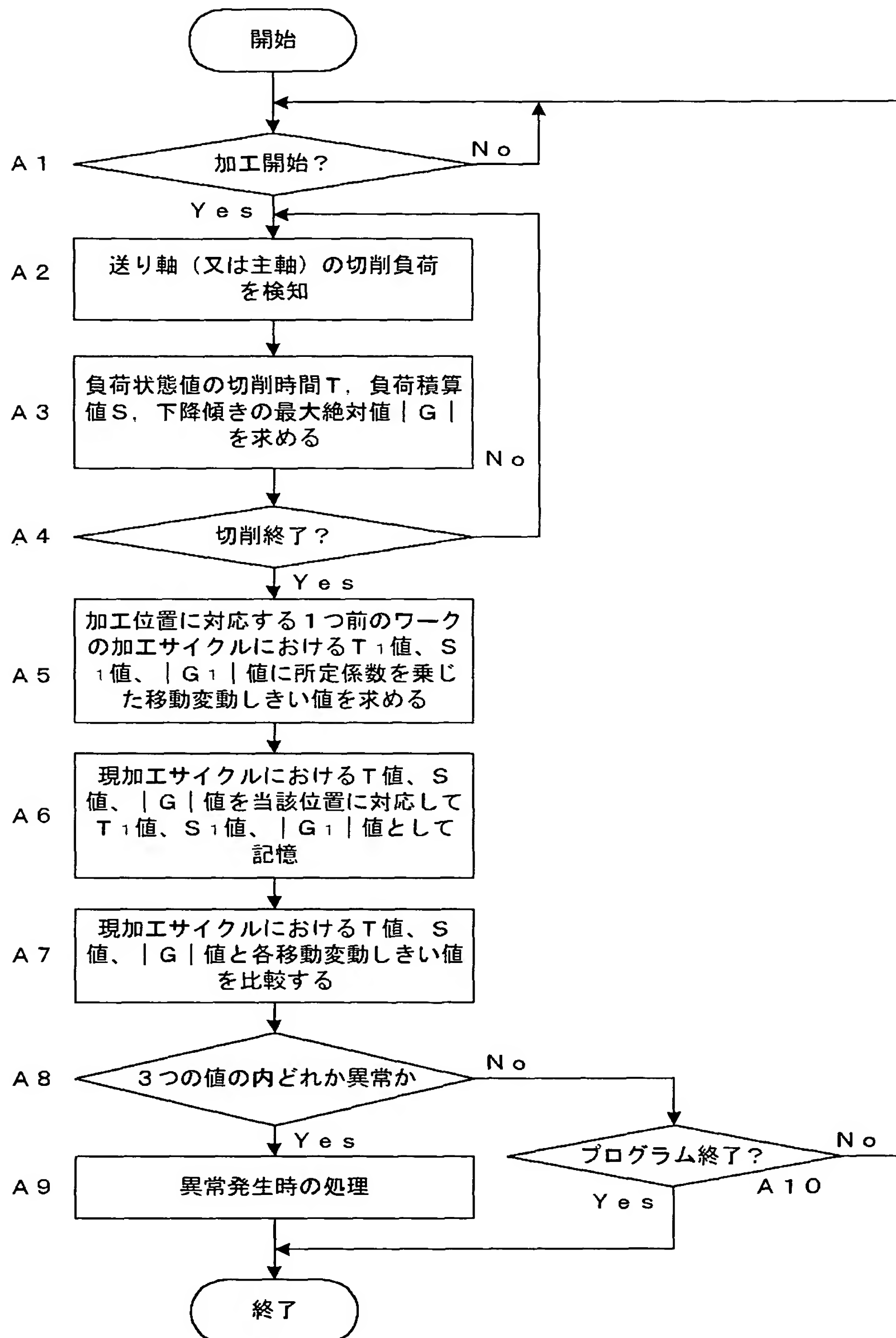
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 工具の長時間使用による工具状態の変化に対しても、素早く工具折損、その予知を的確に行う。

【解決手段】 工具折損が生じると切削加工時間 T 、切削負荷下降傾きの最大絶対値 G は小さくなる。切削負荷積算値 S は工具摩耗で増大し折損で小さくなる。そこで、検出切削負荷から負荷状態値として、これら時間 T 、傾きの最大絶対値 G 、積算値 S を求める (A2, A3)。前のワークでの加工サイクルで求められている負荷状態値に基づいて移動変動しきい値を更新して求める (A5)。現加工サイクルの負荷状態値と移動変動しきい値とを比較し、工具異常を判定する (A7, A8)。工具異常を判別する移動変動しきい値が前の加工サイクルの負荷状態値で更新されているから、切削条件を変更しても、工具の経年変化で状態が変わっても、折損及びその予知ができる。判別のためのデータ数が少なく高速処理できる。

【選択図】 図 1 0

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 2 9 5 4 0 1
受付番号	5 0 2 0 1 5 1 6 9 3 7
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0 0 9 2
作成日	平成 1 4 年 1 0 月 9 日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年10月 8日

次頁無

特願 2 0 0 2 - 2 9 5 4 0 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 9 0 0 0 8 2 3 5]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 1 0 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地

氏 名

ファナック株式会社